

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 17 DEC 2004

WIPO PCT

EP04/11928

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 49 296.8

Anmeldetag: 23. Oktober 2003

Anmelder/Inhaber: Carl Zeiss Meditec AG, 07745 Jena/DE

Bezeichnung: Adapter für Laserbearbeitung

IPC: A 61 F, A 61 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 6. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

Remus

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Patentanwälte

GEYER, FEHNERS & PARTNER (G.b.R.)

European Patent and Trademark Attorneys

MÜNCHEN – JENA

Büro München / Munich Offices:

Perhamerstraße 31 · D-80687 München · Telefon: (0 89) 5 46 15 20 · Telefax: (0 89) 5 46 03 92 · e-mail: gefepat.muc@t-online.de

Büro Jena / Jena Offices:

Sellierstraße 1 · D-07745 Jena · Telefon: (0 36 41) 2 91 50 · Telefax: (0 36 41) 2 91 52 1 · e-mail: gefepat.jena@t-online.de

Carl Zeiss Meditec AG
Anwaltsakte: PAT 9030/051

23. Oktober 2003
K/22/ii(me)

Adapter für Laserbearbeitung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem zu bearbeitenden Objekt, wobei der Adapter eine Eingangsseite aufweist, die über einen Verschlußmechanismus gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung fixierbar ist, zur Ausrichtung des Objektes gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung am Objekt befestigbar ist, einen von der Laserbearbeitungsvorrichtung über einen gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite zugeführten Laserstrahl über einen Strahlengang zum Objekt leitet und eine Referenzstruktur für die Ausrichtung des Adapters aufweist. Die Erfindung bezieht sich weiter auf eine Laserbearbeitungsvorrichtung für einen solchen Adapter mit einer Strahlablenkungseinrichtung zum Scannen eines Laserstrahls.

Bei der Materialbearbeitung mittels Laserstrahlung wird meist ein Abrastern der zu bearbeitenden Gebiete des Objektes mit dem Laserstrahl eingesetzt. Die Genauigkeit der Positionierung des Laserstrahls bestimmt dabei in der Regel die bei der Bearbeitung erzielte Präzision. Wird der Laserstrahl in ein Bearbeitungsvolumen fokussiert, bedarf es einer exakten dreidimensionalen Positionierung. Für eine hochgenaue Bearbeitung ist es deshalb in der Regel unerlässlich, das Objekt in exakt definierter Lage zur Laserbearbeitungsvorrichtung zu halten. Für solche Anwendungen dient der eingangs genannte Adapter, da er das zu bearbeitende Objekt fixiert.

Dies ist insbesondere bei der Mikrobearbeitung von Materialien notwendig, die nur eine geringe lineare optische Absorption im Spektralbereich der bearbeitenden Laserstrahlung aufweisen. Bei solchen Materialien werden üblicherweise nicht-lineare Wechselwirkungen zwischen Laserstrahlung und Material eingesetzt, meist in Form eines optischen Durchbruches, der im Fokus des Laserstrahls erzeugt wird. Da die bearbeitende Wirkung nur im Laserstrahlfokus stattfindet, ist es unerlässlich, den Fokuspunkt exakt dreidimensional auszurichten. Zusätzlich zu einer zweidimensionalen Ablenkung des Laserstrahls ist somit eine exakte Tiefenstellung der Fokuslage erforderlich. Der eingangs genannte Adapter erleichtert dies, da er konstante und

auch mit einer gewissen Genauigkeit bekannte optische Verhältnisse im Strahlengang zum Objekt sicherstellt.

Eine typische Anwendung für einen solchen Adapter ist das als LASIK bekannte augenoptische
5 Operationsverfahren, bei dem ein Laserstrahl auf einen Fokuspunkt in der Größenordnung eines Mikrometers in die Hornhaut fokussiert wird. Im Fokus entsteht dann ein Plasma, das eine lokale Trennung des Hornhautgewebes bewirkt. Durch geeignete Aneinanderreihung der auf diese Weise erzeugten lokalen Trennungszonen werden makroskopische Schnitte realisiert und ein bestimmtes Hornhautteilvolumen isoliert. Durch Entnahme des Teilvolumens wird dann eine
10 gewünschte Brechungsänderung der Hornhaut erreicht, so daß eine Fehlsichtigkeitskorrektur möglich ist.

Zur Ausführung des Verfahrens ist die exakte Positionierung des Laserstrahls unerlässlich. Dazu ist aus der US 6.373.571 eine mit Referenzmarken versehene Kontaktlinse bekannt, die einen
15 Adapter der eingangs genannten Art realisiert. Diese Kontaktlinse wird mittels einer separaten Meßvorrichtung einjustiert, wodurch ein relativ aufwendiger Aufbau bedingt ist.

Ein weiteres Beispiel für einen Adapter der genannten Art ist in der EP 1 159 986 A2 beschrieben. Er weist am Rand einer Halterung Strichmarken auf, die dem Chirurgen eine
20 visuelle Ausrichtung ermöglichen. Die damit erzielte Genauigkeit reicht aber nicht immer aus.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen Adapter bzw. eine Laserbearbeitungsvorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß eine hochgenaue Laserbearbeitung einfach möglich ist.

25 Diese Aufgabe wird mit einem Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem zu bearbeitenden Objekt, wobei der Adapter eine Eingangsseite aufweist, die über einen Verschlußmechanismus gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung fixierbar ist, zur Ausrichtung des Objektes gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung am Objekt befestigbar
30 ist, einen von der Laserbearbeitungsvorrichtung über einen gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite zugeführten Laserstrahl über einen Strahlengang zum Objekt leitet und eine Referenzstruktur für die Ausrichtung des Adapters aufweist, gelöst, bei dem die Referenzstruktur im Strahlengang des Adapters liegt und mittels der über den Bereich gescannten Laserstrahlung optisch lage-detektierbar ist.

35 Die Erfindung wird weiter mit einer Laserbearbeitungsvorrichtung für die Verwendung eines solchen Adapters, mit einer Strahlablenkungseinrichtung zum Scannen eines Laserstrahls gelöst, die aufweist eine Detektoreinrichtung zum optischen Detektieren der Referenzstruktur mittels des Laserstrahls und eine die Detektoreinrichtung auslesende Steuereinrichtung, welche

die Strahlablenkungseinrichtung ansteuert, die Ist-Lage des Adapters anhand der optisch detektierten Referenzstruktur ermittelt und diese bei einer Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung berücksichtigt.

5 Der Adapter dient also dazu, um eingangsseitig eine feste Kopplung mit der Laserbearbeitungsvorrichtung herzustellen. Die zur Laserbearbeitungsvorrichtung orientierte Eingangsseite des Adapters ist deshalb mit geeigneten Mitteln zur festen Verbindung mit dem zum Objekt orientierten Ausgang (z.B. distalen Ende) der Laserbearbeitungsvorrichtung bzw. deren optischen System ausgebildet, so daß eine auf die Laserbearbeitungsvorrichtung 10 bezogen feste Fixierung mittels eines Verschlußmechanismus möglich ist. Für den Verschlußmechanismus kommt dabei beispielsweise die Ausbildung einer Flanschfläche am Adapter in Frage.

15 Ausgangsseitig sorgt der Adapter dafür, daß das Objekt in bekannter Stellung liegt, vorzugsweise bezüglich mehrerer, besonders bevorzugt bezüglich aller möglichen Freiheitsgrade. Zur Befestigung des Adapters am Objekt sind geeignete Mittel vorgesehen; bei einer augenchirurgischen Anwendung kann eine Unterdruckbefestigungseinrichtung, z.B. ein Saugring, wie er aus der WO 03/002008 A1 oder aus der EP 1 159 986 A2 bekannt ist, zum Einsatz kommen.

20 Die im Strahlengang des Adapters vorgesehene Referenzstruktur erlaubt es der Laserbearbeitungsvorrichtung, die Lage des Adapters und damit des Objektes exakt zu erfassen.

25 Die Funktion des erfindungsgemäßen Adapters erschöpft sich aber nicht darin, eine exakte Ausrichtung bzw. eine hochgenau bekannte Ausrichtung zu vermitteln. Die im Adapter vorgesehene, vom Laserstrahl abtastbare Laserbearbeitungsvorrichtung ermöglicht es auch, die Funktion der Laserbearbeitungsvorrichtung hinsichtlich der Laserstrahlablenkung auf einfache Weise zu überprüfen. Dazu wird während des Betriebs der 30 Laserbehandlungsvorrichtung ein Laserstrahl zur Kontrolle über die Referenzstruktur geführt, die Detektion der Referenzstruktur der entsprechenden Ansteuerung der Laserstrahlablenkung zugeordnet und aus der bekannten Lage der Referenzstruktur und der zugeordneten Ansteuerung der Laserstrahlablenkung eine eventuelle Abweichung zwischen Ansteuerung und tatsächlicher Laserstrahlablenkung ermittelt. Diese Differenz kann als Korrektur der Ablenkung 35 des Laserstrahls im nachfolgenden Betrieb berücksichtigt werden. Optional oder zusätzlich kann bei einem einen Grenzwert überschreitenden Korrekturbedarf der Betrieb der Laserbearbeitungsvorrichtung gesperrt werden.

Die dabei verwendete Laserstrahlung kann identisch mit der Bearbeitungslaserstrahlung sein; dies muß aber nicht der Fall sein. Vorteilhafterweise wird die Laserbearbeitungsvorrichtung zum Scannen der Laserstrahlung die gleichen Strahlablenkungsmittel, z. B. Scaneinrichtung, einsetzen, die auch für die Bearbeitungslaserstrahlung verwendet werden, da nur dann die eingangs erwähnte Überprüfung der Strahlablenkung möglich ist. Das Gebiet, in dem die Referenzstruktur liegt, stellt also das potentielle Bearbeitungsgebiet dar.

Verwendet man dagegen für die Lageerfassung des Adapters mittels Detektion der Referenzstruktur eine eigenständige Laser- und Strahlablenkungseinrichtung, kann mitunter ein optisch einfacherer Aufbau erreicht werden.

Zweckmäßigerweise wird man bemüht sein, in der Laserbearbeitungsvorrichtung so wenig Laserstrahlquellen wie möglich einzusetzen, da zusätzliche Laserstrahlquellen üblicherweise mit weiteren Kosten verbunden sind. Um mit dem vom Behandlungslaser abgegebenen Laserstrahl die Referenzstruktur zu detektieren, sollte vorteilhafterweise die Spitzensintensität und die mittlere Leistung verringert werden, um einerseits eine Belastung am zu bearbeitenden Objekt, z. B. am Auge eines Patienten zu vermeiden, und um vor allem einen Bearbeitungseffekt am Adapter zu verhindern. Es ist deshalb zweckmäßigerweise in der Laserbearbeitungsvorrichtung eine Einrichtung zur Laserstrahlenergieminderung vorzusehen, die für die optische Detektion der Referenzstruktur die Energie des vom Behandlungslaser abgegebenen Laserstrahls zumindest zeitweise mindert. Für diesen Zweck kann beispielsweise ein Energieminderer in den Strahlengang geschaltet oder im Strahlengang aktiviert werden. Alternativ kann auch die Eigenschaft üblicher gepulster Laser ausgenutzt werden, zwischen den einzelnen Laserpulsen Hintergrundstrahlung mit stark reduzierter Leistung abzugeben. Diese Hintergrundstrahlung kann für die Detektion der Markierungsstrukturen verwendet werden, und ein Energieminderer kann dann entfallen.

An welcher Stelle im Strahlengang die Referenzstruktur liegt, ist für den erfindungsgemäßen Adapter nicht ausschlaggebend; wesentlich ist lediglich, daß sie mittels der Laserbearbeitungsvorrichtung abgegebener, gescannter Laserstrahlung abtastbar sind; sie befindet sich also innerhalb eines Raumgebietes, in welchem die Laserbearbeitungsvorrichtung den Fokus des Laserstrahls positionieren kann.

Als Referenzstruktur ist jegliche Ausbildung des Adapters geeignet, die es ermöglicht die Lage des Adapters zu erfassen. Zweckmäßigerweise wird man räumliche Zonen gestalten, die sich mindestens hinsichtlich einer optischen Eigenschaft vom restlichen Strahlengang des Adapters unterscheiden. Bei dieser optischen Eigenschaft kann es sich beispielsweise um die Reflexionseigenschaft oder allgemeiner um den Brechungsindex der räumlichen Zone handeln.

Die Referenzstruktur kann dann beispielsweise Kontrollpunkte oder -striche aufweisen, wobei eine Rückreflexion, Streuung oder Absorption bzw. Dispersion der Strahlung eine räumliche Zone auszeichnen kann.

5 Für die die Referenzstruktur unterscheidenden optischen Eigenschaften kommt insbesondere ein Spektralbereich in Frage, der oberhalb UV-Absorptionsbanden optischer Materialien, d.h. oberhalb von 400 nm liegt. Eine mögliche obere Grenze ergibt sich aus der angestrebten Ortsauflösung und kann typischerweise bei 2 μm angegeben werden. Vorzugsweise wird für die optische Eigenschaft ein Spektralbereich zwischen 0,8 μm und 1,1 μm genutzt. Je nach
10 Ortsauflösung können die Markierungsstrukturen Größenabmessungen zwischen 1 μm und 100 μm , vorzugsweise zwischen 3 μm und 10 μm haben.

Zum Weiterleiten der eingangsseitig zugeführten Strahlung zur Ausgangsseite kommen im Adapter verschiedenste Mechanismen in Frage. Für augenoptische Verfahren wird man den
15 Adapter zweckmäßigerweise in Art eines Kontaktglases ausbilden, so daß der Strahlengang zumindest teilweise ein für Bearbeitungslaserstrahlung transparentes Material, insbesondere Glas aufweist. In einer besonders zweckmäßigen Ausgestaltung weist der Adapter einen zylindrischen oder kegelstumpfartigen Körper auf, dessen eine Endfläche als Eingangsseite ausgebildet ist.

20 Zusätzlich kann der Adapter über eine Ausgangsseite verfügen, die einer verformbaren Oberfläche des Objektes eine gewünschte Soll-Form verleiht, z. B. durch Anlegen des Adapters an die verformbare Oberfläche.

25 Eine zweckmäßige Anwendung für den Adapter ist, wie bereits erwähnt, die Ausbildung als Kontaktglas für die Augenchirurgie. Es kann sich natürlich auch um ein spezielles Zubehör handeln, das das eigentliche Kontaktglas ersetzt oder zum Zwecke einer Messung vor der Behandlung am eigentlichen Kontaktglas befestigt wird.

30 Die Referenzstruktur kann, wie bereits erwähnt, die räumliche Ist-Lage des Adapters zu erfassen erlauben. Da der Adapter gleichzeitig fest am Objekt befestigt ist, gibt die Ist-Lage des Adapters auch Informationen über die Lage des Objektes zur Laserbearbeitungsvorrichtung. Es ist deshalb bevorzugt, daß die Referenzstruktur die räumliche Ist-Lage des Adapters wiederspiegelt. Durch optisches Detektieren der Referenzstruktur kann damit eine Aussage
35 über die Orientierung des Objektes zur Laserbearbeitungsvorrichtung gewonnen werden, so daß die optischen Gegebenheiten der Einkopplung des Laserstrahls auf das Objekt bekannt sind und eine hochpräzise Laserbearbeitung möglich ist.

Die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung für den erfindungsgemäßen Adapter ist in der Lage, mittels der Detektoreinrichtung die Referenzstruktur optisch zu detektieren und in der Steuereinrichtung die dadurch bekannte Ist-Lage des Adapters für die Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung zu berücksichtigen. Ist die Laserbearbeitungsvorrichtung für das 5 LASIK-Verfahren ausgebildet, kann die Steuereinrichtung die identifizierte Ist-Lage bei der Ansteuerung so berücksichtigen, daß die zu erzeugenden Durchbrüche an den gewünschten Stellen liegen.

Der Behandlungslaser wird dabei üblicherweise gepulst arbeiten. Es ist deshalb diesbezüglich 10 eine Weiterbildung bevorzugt, bei der ein gepulster Behandlungslaser für ein augenchirurgisches Verfahren verwendet ist, wobei das Objekt die Augenhornhaut ist und die Steuereinrichtung die Strahlablenkungseinrichtung und den Behandlungslaser so ansteuert, daß der Laserstrahl an vorbestimmten Stellen im Auge optische Durchbrüche erzeugt, und dabei die identifizierte Ist-Lage des Adapters berücksichtigt.

15 Wie bereits erwähnt, kann die Referenzstruktur des Adapters dazu dienen, die Funktion der Strahlablenkungseinrichtung, beispielsweise einer Scaneinrichtung oder einer Zoomeinrichtung, im Betrieb zu überprüfen. Es ist deshalb zweckmäßig, daß die Laserbearbeitungsvorrichtung intermittierend mittels der den Behandlungslaserstrahl ablenkenden 20 Strahlablenkungseinrichtung einen Laserstrahl, es kann sich dabei vorzugsweise auch um den Behandlungslaserstrahl handeln, auf die Referenzstruktur richtet, um die Funktion der Strahlablenkungseinrichtung zu überprüfen. Eine etwaige Differenz zwischen Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung und bekannter Ist-Lage der Referenzstruktur kann dann in den weiteren Betrieb der Laserbearbeitungsvorrichtung eingehen. Überschreitet eine solche 25 Differenz einen bestimmten Grenzwert, kann man den Bearbeitungsbetrieb sperren.

Es ist also ein Verfahren vorgesehen, bei dem die Detektion von Grenzflächen zwischen Gebieten mit unterschiedlichem Brechungsindex erfolgt, deren Lage im Adapter bekannt ist und die sich in diesem mit der Laserbearbeitungsvorrichtung zumindest temporär fest verbundenen 30 Bauteil befinden. Natürlich kann der Adapter auch dauerhaft und nicht nur vorübergehend angebracht sein. Bei einem dauerhaft befestigten Adapter kann die Erfassung der Referenzstruktur zur Überprüfung der Ist-Lage des Adapters auch nur während Inspektionsarbeiten zu Servicezwecken ausgeführt werden. Das Verfahren umfaßt folgende Schritte:

35

1. Befestigung des Adapters an der Laserbearbeitungsvorrichtung.

2. Aufsuchen mindestens einer Reflektorzone 25, wobei unter Aufsuchen einer automatischen Positionsbestimmung innerhalb eines durch die zu erwartende Lage der Reflektorzone 25 vorgegebenen räumlichen Suchgebietes zu verstehen ist. Die Positionsbestimmung erfolgt dadurch, daß eine (konfokale) Detektion der Reflektorzone 25 aus reflektiertem oder gestreutem Signal eines Lasers, vorzugsweise des Behandlungsstrahls 4 erfolgt, dessen Fokus 13 mittels räumlicher Verstellung vermöge der Scaneinrichtung 6 und der Projektionsoptik 9 auf geeignet Weise dreidimensional durch das Suchgebiet bewegt wird.
- 10 3. Speichern der so bestimmten Position vorzugsweise für alle drei Raumrichtungen. Die Schritte 2 und 3 können für einige oder alle Reflektorzonen durchgeführt werden.
- 15 4. Berechnung der Abweichung als Differenz zwischen gemessenem Ort der Reflektorzone und Soll-Position.
5. Überprüfung der Abweichung auf zulässige Werte und gegebenenfalls Berücksichtigung bei der Ansteuerung der Strahlablenkung.
- 20 Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung beispielhalber noch näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:
 - Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Laserbearbeitungsvorrichtung für ein augenchirurgisches Verfahren,
 - 25 Fig. 2 eine schematische Darstellung der Augenhornhaut eines Patienten,
 - Fig. 3 eine perspektivische Darstellung eines Kontaktglases für die Laserbearbeitungsvorrichtung der Figur 1,
 - Fig. 4 eine Schnittdarstellung des Kontaktglases der Figur 3,
 - Fig. 5 eine Draufsicht auf das Kontaktglas der Figur 3 und
 - 30 Fig. 6 eine schematische Darstellung der optischen Detektion einer Referenzstruktur des Kontaktglases.

Figur 1 zeigt ein Behandlungsgerät für ein augenchirurgisches Verfahren ähnlich dem in der EP 1159986 A1 bzw. der US 5549632 beschriebenen. Das Behandlungsgerät 1 der Figur 1 dient dazu, an einem Auge 2 eines Patienten eine Fehlsichtigkeitskorrektur gemäß dem bekannten LASIK-Verfahren auszuführen. Dazu weist das Behandlungsgerät 1 einen Laser 3 auf, der gepulste Laser-Strahlung abgibt. Die Pulsdauer liegt dabei z.B. im Femtosekundenbereich, und die Laserstrahlung wirkt mittels nichtlinearer optischer Effekte in der Hornhaut auf die eingangs

beschriebene Art und Weise. Der vom Laser 3 entlang einer optischen Achse A1 abgegebene Behandlungsstrahl 4 fällt dabei auf einen Strahlteiler 5, der den Behandlungsstrahl 4 auf eine Scaneinrichtung 6 leitet. Die Scaneinrichtung 6 weist zwei Scanspiegel 7 und 8 auf, die um zueinander orthogonale Achsen drehbar sind, so daß die Scaneinrichtung 6 den Behandlungsstrahl 4 zweidimensional ablenkt. Eine verstellbare Projektionsoptik 9 fokussiert den Behandlungsstrahl 4 auf bzw. in das Auge 2. Die Projektionsoptik 9 weist dabei zwei Linsen 10 und 11 auf.

Der Linse 11 ist ein Kontaktglas 2 nachgeordnet, das über eine Halterung H fest mit der Linse 11 und damit dem Strahlengang des Behandlungsgerätes 1 verbunden ist. Das noch näher zu beschreibende Kontaktglas 12 liegt an der Hornhaut des Auges 2 an. Die optische Kombination aus Behandlungsgerät 1 mit daran befestigtem Kontaktglas 2 bewirkt, daß der Behandlungsstrahl 4 in einem in der Hornhaut des Auges 2 gelegenen Fokus 13 gebündelt wird.

Die Scaneinrichtung 6 wird ebenso wie der Laser 3 und die Projektionsoptik 9 über (nicht näher bezeichnete) Steuerleitungen von einem Steuergerät 14 angesteuert. Das Steuergerät 14 bestimmt dabei die Lage des Fokus 13 sowohl quer zur optischen Achse A1 (durch die Scanspiegel 7 und 8) sowie in Richtung der optischen Achse A1 (durch die Projektionsoptik 9) vor.

Das Steuergerät 14 liest weiter einen Detektor 15 aus, der von der Hornhaut rückgestreute Strahlung, die den Strahlteiler 5 als Rückstrahlung 16 passiert, ausliest. Auf die Bedeutung des Detektors 15 wird später noch eingegangen.

Das Kontaktglas 12 sorgt dabei dafür, daß die Hornhaut des Auges 2 eine gewünschte Soll-Form erhält. Das Auge 2 befindet sich aufgrund der Anlage der Hornhaut 17 am Kontaktglas 12 in vorbestimmter Lage zum Kontaktglas 12 und damit zum damit verbundenen Behandlungsgerät 1.

Dies ist schematisch in Figur 2 dargestellt, die einen Schnitt durch die Augenhornhaut 17 zeigt. Um eine exakte Positionierung des Fokus 13 in der Augenhornhaut 17 zu erreichen, muß die Krümmung der Augenhornhaut 17 berücksichtigt werden. Die Augenhornhaut 17 weist dabei eine Ist-Form 18 auf, die von Patient zu Patient unterschiedlich ist. Das Kontaktglas 12 liegt nun an der Augenhornhaut 17 derart an, daß es diese in eine gewünschte Soll-Form 19 verformt. Der genaue Verlauf der Soll-Form 19 hängt dabei von der Krümmung der dem Auge 2 zugewandten Fläche des Kontaktglases ab. Dies wird später noch anhand der Figur 4 deutlicher werden. Wesentlich ist hier lediglich, daß durch das Kontaktglas 12 bekannte

geometrische und optische Verhältnisse für das Einbringen und Fokussieren des Behandlungsstrahls 4 in die Hornhaut 17 gegeben sind. Da die Hornhaut 17 am Kontaktglas 12 anliegt und dieses wiederum über die Halterung H gegenüber dem Strahlengang des Behandlungsgerätes 1 ortsfest ist, kann der Fokus 13 durch Ansteuerung der Scaneinrichtung 6 sowie der verstellbaren Projektionsoptik 9 dreidimensional exakt in der Hornhaut 17 positioniert werden.

Figur 3 zeigt eine perspektivische Darstellung des Kontaktglases 12. Wie zu sehen ist, weist das Kontaktglas 12 einen Glaskörper 20 auf, der für den Behandlungsstrahl 4 transparent ist.

10 An einer Oberseite 21 des kegelstumpfartigen Glaskörpers 20 wird der Behandlungsstrahl 4 eingekoppelt; diese Oberseite 21 ist der Linse 11 zugeordnet.

An einer Unterseite 22 des Kontaktglases 12 liegt die Hornhaut 17 an. Wie die Schnittdarstellung der Figur 4 zeigt, ist die Unterseite 22 in der gewünschten Soll-Form 19 gekrümmmt, so daß sie bei voller Kontaktierung des Auges 2 die gewünschte Form der Hornhaut 17 bewirkt.

20 Nahe der Oberseite 21 ist am Kontaktglas 12 eine Flanschfläche 23 ausgebildet, an der das Kontaktglas 12 in der Halterung H durch Klemmen fixiert ist. Die Flanschfläche 23 stellt ein Befestigungsmittel dar, das auf die einen Verschlußmechanismus realisierende Halterung H abgestimmt ist.

25 Die Hauptsymmetriearchse A2 des kegelstumpfförmigen Glaskörpers 20 wird durch Befestigung über die Flanschfläche 23 in fester Verbindung mit dem Behandlungsgerät 21 und passend zur optischen Achse A1 einjustiert. Im Inneren des Glaskörpers 20 ist eine Referenzstruktur 24, im Ausführungsbeispiel ringförmig, gebildet. Der Abstand zur optischen Hauptachse A2 ist im Ausführungsbeispiel möglichst groß gewählt, so daß die Referenzstruktur 24 nur bei nahezu maximal ausgelenkten Behandlungsstrahl 4 im vom Behandlungsstrahl 4 durchstrahlten Volumen des Glaskörpers 20 liegt.

30 Wie die Figuren 4 und 3 zeigen, liegt die Referenzstruktur 24 im Volumen des Glaskörpers 20 vorzugsweise am Rand bzw. nahe des Randes des kegelstumpfartigen Glaskörpers 20. Die Referenzstruktur 24 besteht aus mehreren Reflektorzonen 25, die für die vom Laser 3 abgegebene Strahlung reflektierend sind.

35 Die Reflektorzone 25 kann auch auf der Oberseite 21 oder der Unterseite 22 des Kontaktglases 12, d. h. auf der Eintritts- oder Austrittsfläche des Adapters in Form einer geeigneten Schichtstruktur oder geeigneter reflektierender oder nicht-reflektierende Schichten aufgebracht

werden. Auch ist es möglich, Zonen oder Schichten mit erhöhter elastischer Lichtstreuung vorzusehen, um die Reflektorzonen 25 zu realisieren.

Fällt der Behandlungsstrahl 4 auf eine Reflektorzone 25, wird Strahlungsenergie 5 zurückgestreut, die dann vom Detektor 15 aufgenommen wird. Anhand des Signals des Detektors 15 kann das Steuergerät 14 somit erkennen, ob der Behandlungsstrahl 4 auf eine Reflektorzone 25 gerichtet ist.

Wie in Figur 5 zu sehen ist, liegen die Reflektorzonen 25 ringförmig nahe des Randes der 10 Unterseite 22. Die Unterseite 22 gibt zusammen mit der durch die Scaneinrichtung 6 möglichen Ablenkung die Größe und Lage des Bearbeitungsgebietes vor. Bei einer Fehlpositionierung des Bearbeitungsgebietes auf der Augenhornhaut 17 kommt es zu einer Abweichung zwischen einem gewünschten und einem erzielten Refraktionsergebnis, so daß eine angestrebte 15 Fehlsichtigkeitskorrektur mitunter nicht erreicht werden kann. Die Reflektorzonen 25 dienen dazu, die tatsächliche Strahlablenkung mit einem vorgegebenen Soll-Wert zu vergleichen und dadurch Bearbeitungsfehler zu minimieren.

Abweichungen zwischen tatsächlicher Strahlposition und vorgegebener Soll-Lage auf der Augenhornhaut 17 können prinzipiell durch Bewegungen des Auges relativ zum 20 Behandlungsgerät 1 oder durch eine Fehlpositionierung des Auges 2 gegenüber dem Behandlungsgerät 1 oder durch eine Fehlpositionierung der Scanspiegel 7, 8 sowie der Projektionsoptik 9 hervorgerufen werden. Das Kontaktglas 12 bewirkt eine fixe Positionierung des Auges 2 gegenüber dem Behandlungsgerät 1, da die Augenhornhaut 17 über geeignete 25 Mittel, beispielsweise einen (nicht näher dargestellten) Saugring, am Auge 2 fixiert wird. Die Reflektorzonen 25 dienen nun dazu, die Lage des Auges 2 gegenüber dem Behandlungsgerät 1 ermitteln zu können.

Das Steuergerät 14 steuert die Scaneinrichtung 6 sowie die Projektionsoptik 9 so an, daß ein 30 Laserstrahl über die Reflektorzonen 25 geführt wird. Beispielsweise steuert das Steuergerät 14 den Laser 3 in einen Betriebsmodus, in dem nur ein Strahl 4 mit stark verringelter Strahlungsintensität abgegeben wird. Dies kann beispielsweise durch Aktivieren oder Einschwenken eines geeigneten Strahlungsabschwächers erfolgen. Handelt es sich beim Laser 35 um eine gepulste Laserstrahlungsquelle kann auch eine außerhalb des Pulsbetriebes eventuell vorliegende, sehr viel schwächere Hintergrundstrahlung verwendet werden. Alternativ ist es möglich, einen zusätzlichen Laser einzukoppeln, beispielsweise über einen weiteren Strahlteiler, der der Scaneinrichtung 3 vorgeordnet ist. Bei diesem Laserstrahl kann es sich also entweder um den gegebenenfalls geeignet abgeschwächten Behandlungsstrahl 4 oder um

einen separaten Laserstrahl handeln, der vor der Scaneinrichtung 6 in den Strahlengang entlang der optischen Achse A1 eingekoppelt wird.

Trifft der Laserstrahl auf eine Reflektorzone 25, zeigt der Detektor 15 ein entsprechendes
5 Signal an. Wird eine Reflektorzone 25 so detektiert, speichert das Steuergerät 14 die dabei
gegebenen Einstellwerte für die Scaneinrichtung 6 sowie die Projektionsoptik 9 ab. Nach
Abtasten von mindestens drei Reflektorzonen 25 ist damit eine vollständige Bestimmung der
10 tatsächlichen Ist-Lage des Kontaktglases 12 und damit der Augenhornhaut 17 erreicht. Diese
Ist-Lage verwendet das Steuergerät 14, um in der nachfolgenden Behandlung mit dem
Behandlungsstrahl 4 den Fokus 13 an gewünschten vorgegebenen Stellen in der
Augenhornhaut 17 zu plazieren.

Durch die ringförmige Referenzstruktur 24 am Rande des Bearbeitungsgebietes ist eine
ungestörte Behandlung im Zentrum der durch die Unterseite 22 umschriebenen
15 Querschnittsfläche, durch die der Behandlungslaserstrahl 4 in die Augenhornhaut 17
eingekoppelt wird, möglich. Durch eine ausreichend große numerische Apertur der
Behandlungsstrahlung ist der Einfluß der im Randbereich des Bearbeitungsgebietes liegenden
Reflektorzonen 25 bei der Behandlung vernachlässigbar.

20 Die Lage der Reflektorzonen 25 am Rand der Unterseite 22 erlaubt es, im laufenden Betrieb die
Funktion der Scaneinrichtung 6 sowie der Projektionsoptik 9 zu überprüfen. Dabei kann eine
relative Abweichung zwischen gespeicherter Ist-Lage der Reflektorzonen 25 sowie bei einer
erneuter Überprüfung zugeordneter Einstellungen der Scaneinrichtung 6 sowie Projektionsoptik
25 erfolgen, um im Betrieb auftretende Abweichungen auskorrigieren zu können oder
gegebenenfalls den Betrieb des Behandlungsgerätes 1 zu sperren, falls eine zu große
Abweichung vorliegt.

Den Vorgang der Detektion einer Reflektorzone 25 veranschaulicht Figur 6. Dort ist ein Signal S
des optischen Detektors 15 als Kurve 26 eingetragen. Der Fokus 13 wird auf einer Bahn 27, die
30 im Regelfall dreidimensional ausgebildet, in Figur 2 jedoch nur zweidimensional dargestellt ist,
von einem Punkt A zu einem Punkt D geführt, der den Bereich, in dem eine Reflektorzone 25
erwartet wird, überdeckt. Während der Bewegung des Laserfokus 13 vom Punkt A liefert der
Detektor 15 einen Ruhewert S0. Beim Erreichen des Punktes B ändert sich das Signal und
steigt an, da ein Rückreflex an der Reflektorzone 25 eintritt. Die zugehörige Koordinate xB in x-
35 Richtung (in Figur 6 ist das Signal S nur eindimensional bezüglich der x-Richtung eingetragen)
kennzeichnet den Beginn der Reflektorzone 25 in x-Richtung.

Mit Erreichen des Punktes C sinkt das Signal wieder auf den Ruhewert S0, und die Koordinate xC bezeichnet das Ende der Reflektorzone in x-Richtung. Ist der Durchmesser des Fokus 13 klein gegen die Ausdehnung der Reflektorzone 25 und damit klein gegen die Entfernung BC, ist die in Figur 6 dargestellte deutliche Trennung der steigenden Flanke bei xB und der fallenden

5 Flanke bei xC möglich. In diesem Fall kann die gewonnene Information über die Lage dieser Koordinaten bei der Bestimmung der Position der Reflektorzone 25 mit im Steuergerät 14 berücksichtigt werden, wenn die Reflektorzone 25 eine bekannte Form hat. Ist der Durchmesser des Laserfokus 13 dagegen gleich oder größer dem Abstand BC, lassen sich die Koordinaten xB und xC nicht unterscheiden, und das Zentrum der Reflektorzone 25 erscheint im Signal S.

10

Die in Figur 2 eindimensional geschilderte Ortsbestimmung durch optisches Abtasten erfolgt natürlich in drei Raumkoordinaten, so daß die Lage der Reflektorzone 25 insgesamt dreidimensional bestimmt wird.

15

Die Detektion der Reflektorzone 25 im Bearbeitungsgerät der Figur 1 kann vorzugsweise konfokal erfolgen, um eine möglichst hohe Auflösung entlang der optischen Achse A1 bzw. A2 (d. h. in Tiefenrichtung) zu erzielen.

20

Carl Zeiss Meditec AG
Anwaltsakte: PAT 9030/051

23. Oktober 2003
K/22/II(me)

Patentansprüche

1. Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung (1) mit einem zu bearbeitenden Objekt (2), wobei der Adapter (12)
 - eine Eingangsseite (21) aufweist, die über einen Verschlußmechanismus (H) gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung (1) fixierbar ist,
 - zur Ausrichtung des Objektes (2) gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung (1) am Objekt (2) befestigbar ist,
- 10 - einen von der Laserbearbeitungsvorrichtung (1) über einen gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite (21) zugeführten Laserstrahl (4) über einen Strahlengang zum Objekt (2) leitet und
 - eine Referenzstruktur (24) für die Ausrichtung des Adapters (12) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß
- 15 die Referenzstruktur (24) im Strahlengang des Adapters (12) liegt und mittels der über den Bereich gescannten Laserstrahlung (4) optisch lage-detektierbar ist.
- 20 2. Adapter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstruktur (24) mindestens eine räumliche Zone (25) aufweist, die sich mindestens hinsichtlich einer optischen Eigenschaft vom restlichen Strahlengang des Adapters (12) unterscheidet.
- 25 3. Adapter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Eigenschaft der Brechungsindex ist.
4. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlengang zumindest teilweise ein für Bearbeitungslaserstrahlung transparentes Material (20), insbesondere Glas, aufweist.

5. Adapter nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch einen zylindrischen oder kegelstumpfartigen Körper (20), dessen eine Endfläche (21) als Eingangsseite ausgebildet ist.

5 6. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Flansch (23) für den Verschlußmechanismus (H).

7. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Unterdruckbefestigungseinrichtung zum Befestigen am Objekt (2).

10 8. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Ausgangsseite (22), die an der Eingangsseite (21) zugeführte Laserstrahlung (4) abgibt und an die eine verformbare Oberfläche (17) des Objektes (12) anlegbar ist und die dieser dabei eine gewünschte Soll-Form (19) gibt.

15 9. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er als Kontaktglas für die Augenchirurgie ausgebildet ist.

20 10. Adapter nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstruktur (24) die räumliche Ist-Lage des Adapters (12) widerspiegelt.

11. Laserbearbeitungsvorrichtung für die Verwendung eines Adapters nach einem der obigen Ansprüche, mit einer Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) zum Scannen eines Laserstrahls (4) über den gewissen Bereich,

25 gekennzeichnet durch

- eine Detektoreinrichtung (5, 15) zum optischen Detektieren der Referenzstruktur (24) mittels des Laserstrahls (4) und

- eine die Detektoreinrichtung (5, 15) auslesende Steuereinrichtung (14), welche die Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) ansteuert, die Ist-Lage des Adapters (12) anhand der optisch detektierten Referenzstruktur (24) ermittelt und diese bei einer Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) berücksichtigt.

30 12. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung bei der Ansteuerung der Strahlablenkungseinrichtung (6, 9) eine Differenz zwischen einer Soll-Lage und der Ist-Lage des Adapters (12) berücksichtigt.

35 13. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (14) eine Differenz zwischen einer Soll-Lage und der Ist-Lage des

Adapters (12) ermittelt und den Bearbeitungsbetrieb sperrt, wenn die Differenz einen Grenzwert überschreitet.

1/3

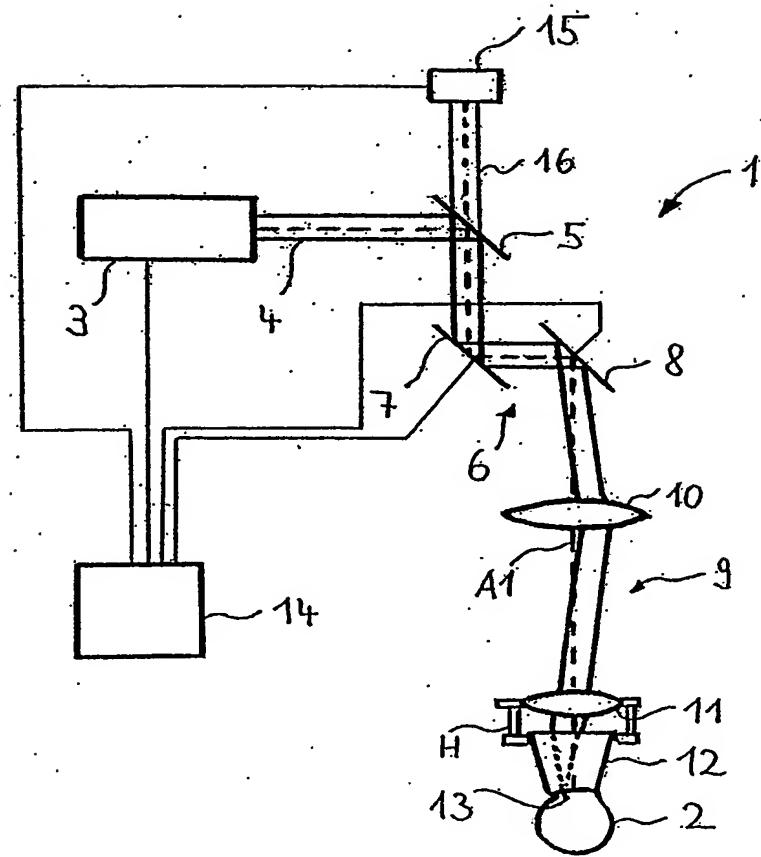


Fig. 1

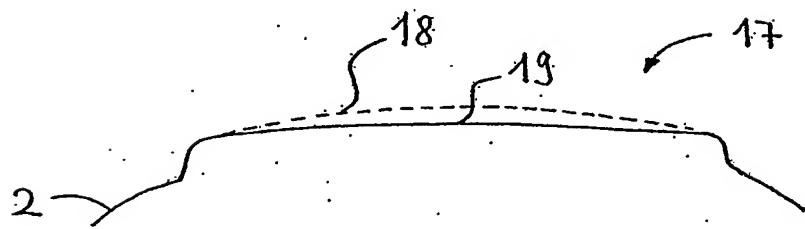


Fig. 2

2/3

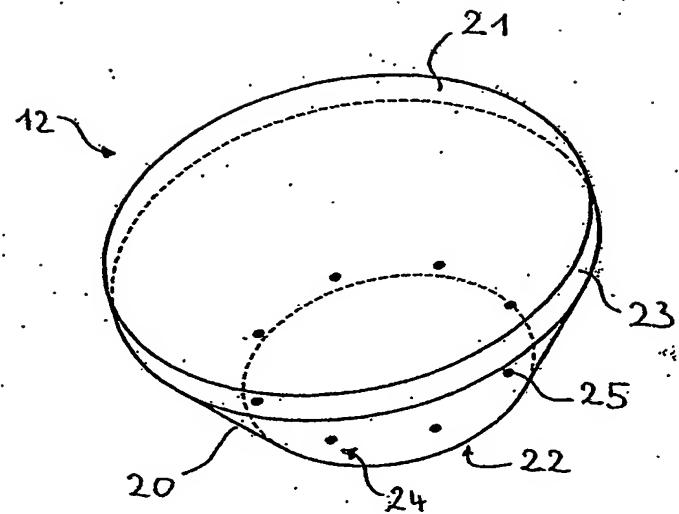


Fig. 3

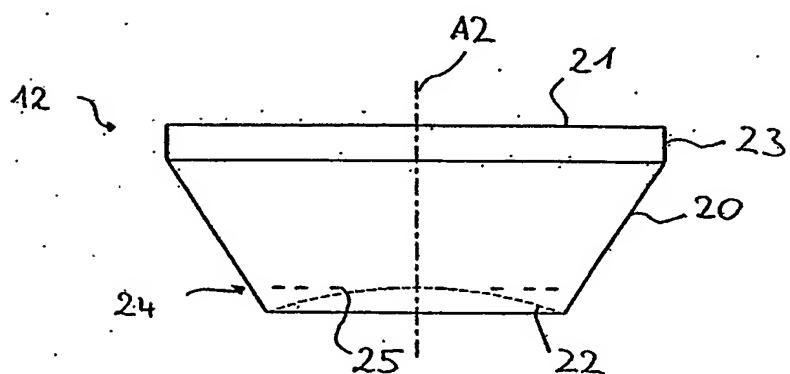


Fig. 4

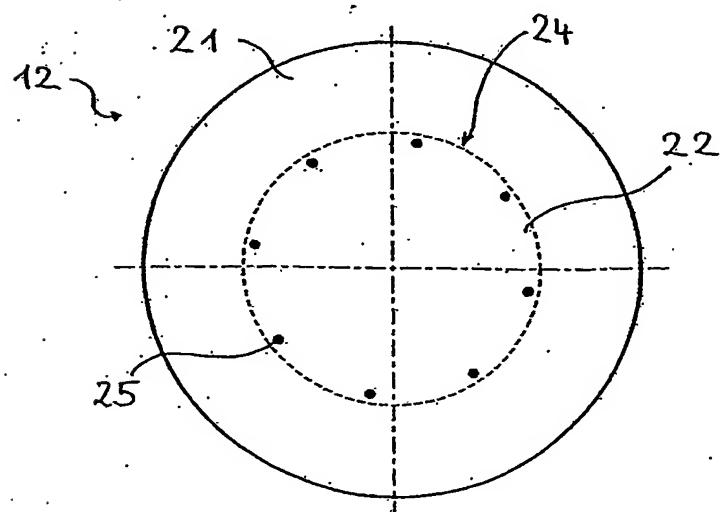


Fig. 5

3/3

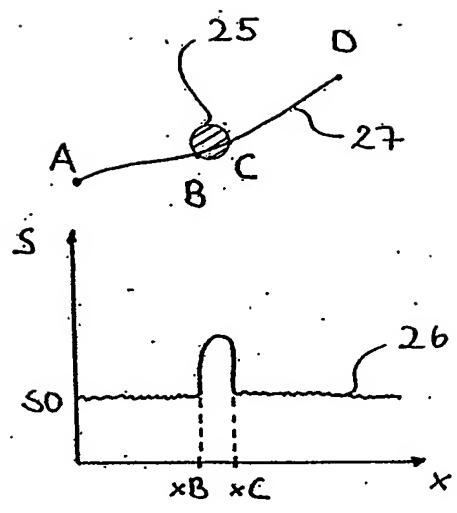


Fig. 6

Carl Zeiss Meditec AG
Anwaltsakte: PAT 9030/051

23. Oktober 2003
K/22/ii(me)

Zusammenfassung

5 Es wird beschrieben ein Adapter zum Koppeln einer Laserbearbeitungsvorrichtung (1) mit
einem zu bearbeitenden Objekt (2), wobei der Adapter (12) eine Eingangsseite (21) aufweist,
die über einen Verschlußmechanismus (H) gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung (1)
fixierbar ist, zur Ausrichtung des Objektes (2) gegenüber der Laserbearbeitungsvorrichtung (1)
am Objekt (2) befestigbar ist, einen von der Laserbearbeitungsvorrichtung (1) über einen
gewissen Bereich gescannt an der Eingangsseite (21) zugeführten Laserstrahl (4) über einen
10 Strahlengang zum Objekt (2) leitet und eine Referenzstruktur (24) für die Ausrichtung des
Adapters (12) aufweist, wobei die Referenzstruktur (24) im Strahlengang des Adapters (12) liegt
und mittels der über den Bereich gescannten Laserstrahlung (4) optisch detektierbar ist.

15 Fig. 3